

# OFFSET

Fundação Universidade Federal de Rondônia  
Núcleo de Tecnologia  
Departamento de Engenharia Elétrica - DEE  
Disciplina de Eletrônica II

## I. OBJETIVOS

- Observar na prática o efeito do *offset* em um ampop 741.
- Descobrir como se obtém tensão e corrente de *offset*.
- Aprender como contornar esse problema de diversas maneiras como também possíveis alternativas.

## II. INTRODUÇÃO

Pelo fato de os ampops serem dispositivos diretamente acoplados com alto ganho *cc*, eles estão propensos a problemas em *cc*. O primeiro desses problemas é a tensão de *offset* (desequilíbrio) *cc*. Para entender esse problema, considere o seguinte experimento *teórico*: se os dois terminais do ampop forem ligados juntos e conectados ao terra, será observada uma tensão *cc* finita na saída. Na realidade, se o ampop tem alto ganho *cc*, a saída poderá estar em um de dois níveis possíveis de saturação, positivo ou negativo. A saída do ampop pode retomar ao seu valor ideal de 0V conectando-se uma fonte *cc* de polaridade e valor apropriados entre seus dois terminais de entrada. Essa fonte externa compensa a tensão de entrada de *offset* do ampop. Portanto, a **tensão de offset de entrada**  $V_{os}$  deve ser de valor igual, mas de polaridade oposta à tensão aplicada externamente.

A tensão de *offset* resulta de um inevitável *desequilíbrio* presente no estágio diferencial da entrada (interno ao ampop). A preocupação é o efeito de  $V_{os}$  sobre a operação em malha fechada dos circuitos com ampop. Observamos que os ampops de uso geral exibem  $V_{os}$  na faixa de 1 a 5mV. Também, o valor de  $V_{os}$  depende da temperatura. Os catálogos de ampop especificam geralmente valores típicos e máximos de  $V_{os}$  para a temperatura ambiente, assim como o coeficiente de temperatura de  $V_{os}$  (em geral, em  $\mu V/^{\circ}C$ ). Eles, contudo, não especificam a polaridade de  $V_{os}$  porque os *descasamentos* entre componentes que fazem surgir  $V_{os}$  não são conhecidos *a priori*; diferentes amostras de ampops do mesmo tipo podem exibir polaridades positivas ou negativas de  $V_{os}$ .

### A. $V_{OS}$ de algumas configurações

Para o *buffer* de tensão temos:

$$V_{OS} = V_{IO} + R_f \cdot I_{b-} + R_b \cdot I_{b+}$$

Para  $R_b = R_i // R_f$ :

$$V_{OS} = V_{IO} + R_f \cdot I_{IO}$$

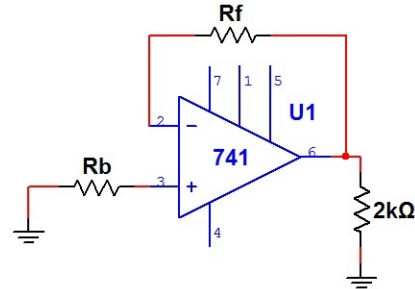


Figura 1. *Buffer*.

Para  $R_b = 0$ :

$$V_{OS} = V_{IO} + R_f \cdot I_{b-}$$

Para  $R_b = R_f = 0$ :

$$V_{OS} = V_{IO}$$

Para o amplificador temos:

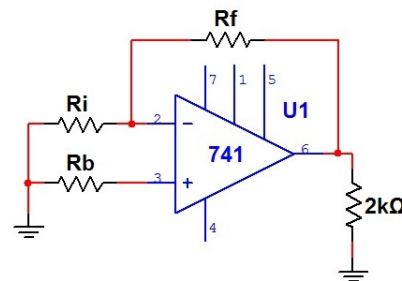


Figura 2. *Amplificador*.

$$B = R_i / (R_i + R_f)$$

$$V_{OS} = \frac{1}{B} V_{IO} + R_f \cdot I_{b-} - \frac{1}{B} R_b \cdot I_{b+}$$

Para  $R_b = \frac{R_i \cdot R_f}{R_i + R_f}$ :

$$V_{OS} = \frac{1}{B} V_{IO} + R_f \cdot I_{IO}$$

Para  $R_b = 0$ :

$$V_{OS} = \frac{1}{B} V_{IO} + R_f \cdot I_{b-}$$

Para o derivador temos:

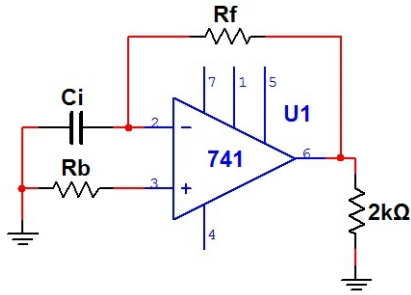


Figura 3. Derivador.

$$V_{OS} = V_{IO} + R_f \cdot I_{b-} - R_b \cdot I_{b+}$$

Para  $R_b = R_f$ :

$$V_{OS} = V_{IO} + R_f \cdot I_{IO}$$

Para  $R_b = 0$ :

$$V_{OS} = V_{IO} + R_f \cdot I_{b-}$$

Para o integrador temos:

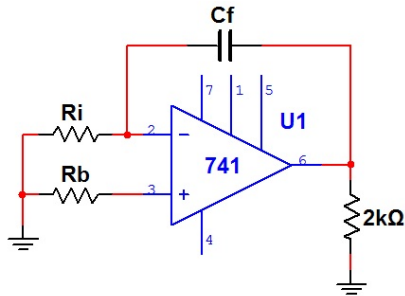


Figura 4. Integrador.

$$T_i = R_i \cdot C_f$$

$$V_{OS} = \frac{1}{T_i} \int (V_{IO} + R_i \cdot I_{b-} - R_b \cdot I_{b+}) dt + V_{IO} - R_b \cdot I_{b+}$$

Para  $R_b = R_i$ :

$$V_{OS} = \frac{1}{T_i} \int (V_{IO} + R_i \cdot I_{IO}) dt + V_{IO} - R_b \cdot I_{b+}$$

Para  $R_b = 0$ :

$$V_{OS} = \frac{1}{T_i} \int (V_{IO} + R_i \cdot I_{b-}) dt + V_{IO}$$

$$\frac{\Delta V_O}{\Delta t} = \frac{1}{T_i} (V_{IO} + R_i \cdot I_{b-} - R_b \cdot I_{b+})$$

### III. MATERIAIS UTILIZADOS

- Gerador de Tensão DC Instrutherm FA - 3030;
- Multímetro;
- Protoboard;
- Resistores de  $75\Omega(1)$ ,  $100\Omega(2)$ ,  $2k\Omega(1)$ ,  $10k\Omega(2)$ ,  $15k\Omega(1)$  e  $1M\Omega(2)$ ;
- Trimpot de  $10k\Omega(1)$ ;
- Capacitores de  $10nF(2)$  e  $100nF(2)$ ;
- Ampop 741(1).

### IV. PARTE EXPERIMENTAL

Nesta experiência iremos medir os parâmetros do ampop que provocam erros em corrente contínua conhecidos como offset. Corrente de polarização das duas entradas,  $I_{b+}$  e  $I_{b-}$ , e a tensão de compensação da entrada  $V_{IO}$ . Em seguida verificaremos o efeito maléfico que estes “aparentemente desprezíveis parâmetros” provocam nos circuitos e apresentaremos dois métodos para minimizar estes erros.

#### A. Método padrão

Adotaremos a recomendação de medir somente a tensão no terminal de saída do ampop. Evitaremos medir o potencial diretamente nos terminais de entrada do ampop; o multímetro poderia adulterar o resultado.

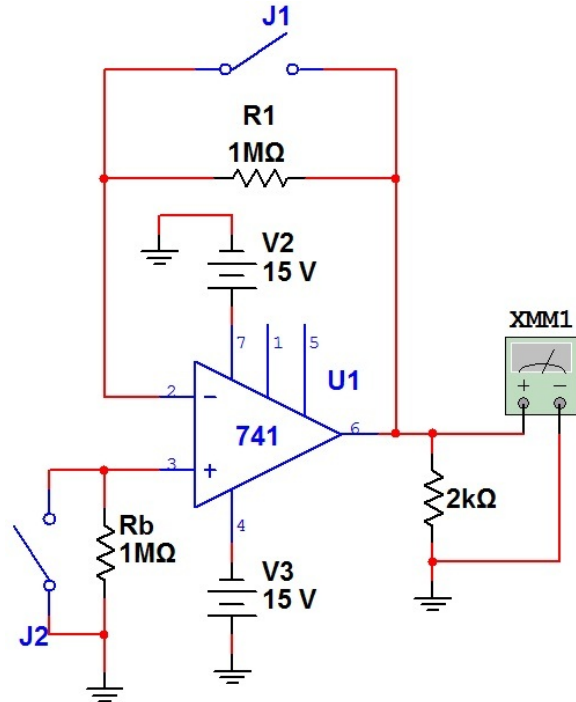


Figura 5. Esquema: Método Padrão.

**PRIMEIRA ETAPA** - Mantenha as duas chaves  $J1$  e  $J2$  fechadas e mensure a tensão de saída com multímetro. Esta tensão deverá ser menor que  $5mV$  e poderá ser positiva ou negativa. Quanto menor for esta tensão, melhor será o ampop.

Para  $R_f = R_b = 0\Omega$ :

$$V_O = V_{IO} = \text{_____} mV$$

**SEGUNDA ETAPA** - Abra a chave  $J1$ . A tensão de saída sofrerá influência de  $I_{b-}$ . Para  $R_B = 0\Omega$ :

$$V_O = V_{IO} + R_f \cdot I_{b-}$$

$$V_O = \text{_____} mV$$

Podemos calcular  $I_{b-}$ :

$$I_{b-} = (V_O - V_{IO})/R_f$$

$$I_{b-} = \text{_____} nA$$

**TERCEIRA ETAPA** - Fechar  $J1$  e abrir  $J2$ . A tensão de saída, provavelmente negativa, sofrerá influência de  $I_{b+}$ . Para  $R_f = 0\Omega$ :

$$V_O = V_{IO} - R_b \cdot I_{b+}$$

$$V_O = \text{_____} mV$$

Podemos calcular  $I_{b+}$ :

$$I_{b+} = -(V_O - V_{IO})/R_b$$

$$I_{b+} = \text{_____} nA$$

**QUARTA ETAPA** - Com os três resultados acima, podemos calcular:

$$I_b = I_{b-} + I_{b+}/2$$

$$I_b = \text{_____} nA$$

$$I_{IO} = I_{b-} - I_{b+}$$

$$I_{IO} = \text{_____} nA$$

$I_b$  é positivo, entrando nos terminais do ampop, porque os transistores de entrada do 741 são NPN. Este valor poderá chegar até  $500nA$  (valor típico  $80nA$ ) à temperatura ambiente de  $25^\circ C$ .  $I_{IO}$  pode ser positivo ou negativo. Quanto menor este valor, melhor será o ampop. Este valor indica o grau de "casamento" entre os transistores de entrada e o grau de precisão do ampop. Para o 741, este valor poderá atingir  $200nA$  (valor típico  $20nA$ ) menor que 25% do valor de  $I_b$ .

**QUINTA ETAPA** -  $I_{IO}$  pode ser estimado diretamente se abrimos as duas chaves. O resultado deverá ser muito próximo do valor obtido anteriormente.

Uma vez que  $R_f = R_b = R$ . Teremos:

$$V_O = V_{IO} + R_f \cdot I_{b-} - R_b \cdot I_{b+}$$

Para  $R_b = R_f = R$ :

$$V_O = V_{IO} + R \cdot I_{IO}$$

$$V_O = \text{_____} mV$$

$$I_{IO} = (V_O - V_{IO})/R$$

$$I_{IO} = \text{_____} nA$$

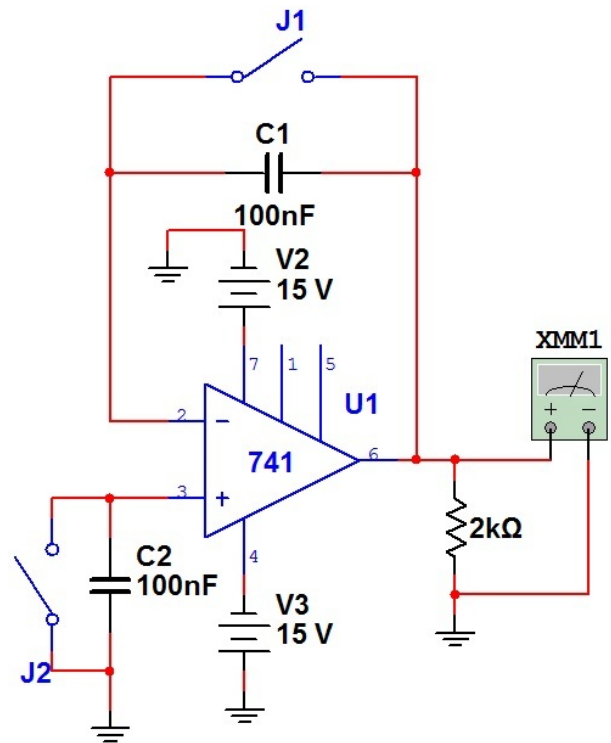


Figura 6. Esquema: Método Alternativo.

### B. Método alternativo

Nos ampop com entrada FET as correntes de polarização são tão pequenas que o resistor de  $1M\Omega$  não é capaz de detectar esta corrente. Sugerimos um método alternativo capaz de indiretamente medir estas correntes.

Substituir  $R_f$  e  $R_b$  por capacitores de  $100nF$ , conforme o diagrama esquemático da figura 6, mantendo  $S1$  e  $S2$  fechados. Estes capacitores devem ter baixa corrente de fuga por isso recomendamos capacitores de poliestireno ou cerâmico.

Ajuste o multímetro para medir tensão contínua de até  $20V$ . Você irá cronometrar o tempo que a tensão de saída irá levar para variar de  $0V$  até  $10V$ .

**PRIMEIRA ETAPA** - Abra  $S1$  e dispare o cronômetro. Pare o cronômetro quando a tensão de saída atingir  $10V$ .

$$\Delta t = \text{_____} s$$

$$\Delta V_O = 10V, \quad C = 100nF$$

$$I_{b-} = (C \cdot \Delta V_O) / \Delta t$$

$$I_{b-} = \text{_____} nA$$

**SEGUNDA ETAPA** - Feche  $S1$  e repita a experiência para  $S2$ .

$$\Delta t = \text{_____} s$$

$$I_{b+} = (C \cdot \Delta V_O) / \Delta t$$

$$I_{b+} = \text{_____} nA$$

Os valores encontrados nesta experiência são bastante próximos dos encontrados na experiência anterior.

Esta experiência mostrou que as correntes de polarização, apesar de muito pequenas, não podem ser desprezadas, principalmente em circuitos que contém capacitores.

Observamos que a tensão varia linearmente com o tempo. Isto significa que  $I_{b-}$  e  $I_{b+}$  são “fontes de corrente”.

Observe que esta corrente quase imperceptível e difícil de ser medida, foi estimada indiretamente através da medição da tensão de saída do ampop através de um voltímetro rudimentar. Este efeito é empregado nos integradores das malhas de controle industrial.

Se tentarmos medir a tensão no capacitor, através de osciloscópio ou multímetro, a resistência de entrada destes instrumentos não permitirá o carregamento do capacitor. O resultado seria adulterado pela instrumentação de medida. Experimente. Para ampops com entrada FET o capacitor deverá ter menor capacitância. Sugerimos entre  $1nF$  e  $10nF$ .

### C. Efeitos de $V_{IO}$

O circuito apresentado na figura 7 pode ser utilizado como um amplificador não-inversor de ganho  $A_v = +101$  ou como um amplificador inversor de ganho  $A_v = -100$ . O ganho da malha de realimentação,  $B = R_i / (R_i + R_f) = 1/101$ , é o mesmo para os dois amplificadores, uma vez que o circuito é o mesmo. Portanto a tensão de compensação,  $V_{IO}$ , que é amplificada pelo fator  $1/B$ , ou seja, 101 vezes, é igual para os dois amplificadores. As correntes de polarização,  $I_{b+}$  e  $I_{b-}$ , provocam também um erro DC. No entanto, como foram utilizados resistores de baixa resistência, estes erros podem ser desprezados.

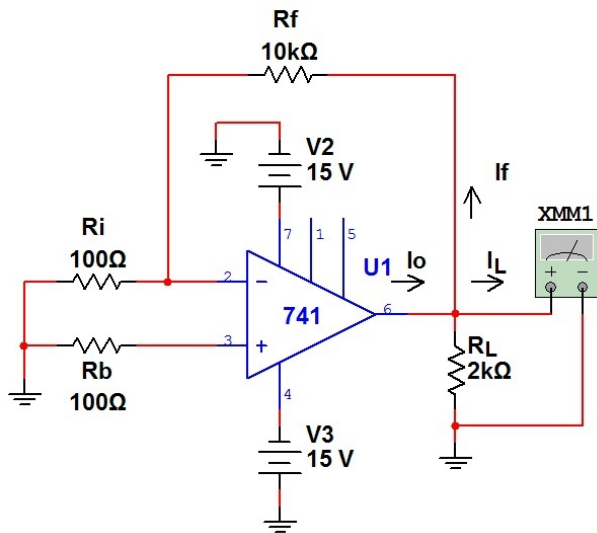


Figura 7. Esquema: Offset.

$$V_O = \text{_____} mV$$

$$V_{IO} \cong B \cdot V_O = V_O / 101$$

$$V_{IO} = \text{_____} mV$$

Não desmonte este circuito.

### D. Offset null

A tensão que está sendo medida na saída do ampop é um erro em corrente contínua, uma vez que o sinal de entrada é 0V.

Para zerar este erro dispomos de dois métodos. O primeiro método consiste em utilizar os terminais próprios (quando existirem) denominados *BALANCE* ou *OFFSET NULL*. O diagrama esquemático e os valores dos componentes utilizados são apresentados pelos fabricantes. Para o 741, o circuito é apresentado na figura 8. Este método é utilizado em circuitos mais simples, que utilizam apenas um ampop.

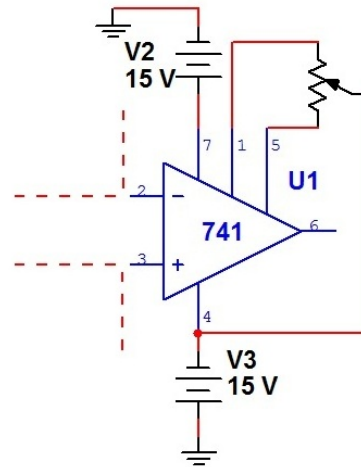


Figura 8. Esquema: Ajuste interno do ampop.

O segundo esquema, utilizado em circuitos mais complexos, permite adaptar a faixa de ajuste de acordo com a aplicação. Um único ajuste é utilizado para compensar três ou mais ampops ligados em cascata. Este método, universal, serve para todos ampops, pois é realizado externamente ao ampop. O circuito é apresentado na figura 9.

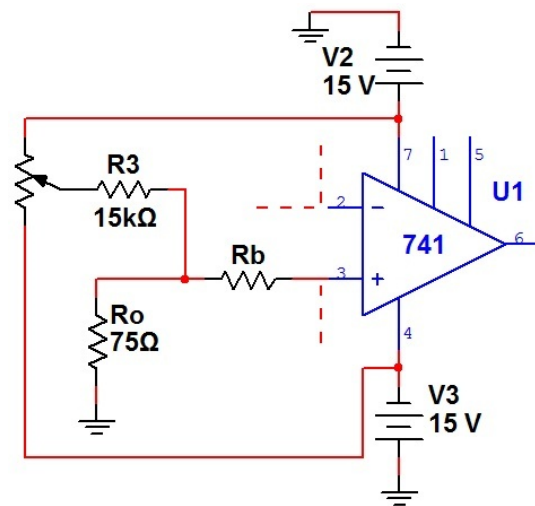


Figura 9. Esquema: Ajuste externo.

Neste esquema de ajuste teremos:

$$V_O = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{cc} \cong \frac{R_1}{R_2} V_{cc} \quad (1)$$

$$R_b = R_i // R_f = \frac{R_i \cdot R_f}{R_i + R_f} \quad (2)$$

**PRIMEIRA ETAPA** - Completar o circuito com o trimpot de ajuste conforme a figura 8. Preste muita atenção na instalação do trimpot.

**SEGUNDA ETAPA** - Ligar a alimentação e variar o trimpot de batente a batente. Medir a tensão de saída:

$$\text{_____} < V_O < \text{_____}$$

Dividindo estes resultados por  $B = 101$ , encontraremos a “faixa de ajuste de  $V_{IO}$ ” proporcionada por este trimpot.

$$\text{_____} < V_{IO} < \text{_____}$$

O fabricante do 741 informa que esta faixa de ajuste é de  $-15mV$  a  $+15mV$ , maior que os  $5mV$  de  $V_{IO}$ .

Esta faixa de ajuste maior permite compensar, também, o erro provocado por  $I_{IO}$ . Isto significa que, quando a tensão de saída estiver zerada, haverá uma tensão  $V_{IO}$  remanescente para compensar o erro provocado por  $I_{IO}$ . Para zerar o offset devemos proceder da seguinte forma:

#### E. Procedimento de ajuste

**PRIMEIRO PASSO** - Reduzir o sinal de entrada até zerar, ou então, substituir o gerador de sinais por uma resistência equivalente à resistência de saída (interna) do gerador de sinais.

**SEGUNDO PASSO** - Instalar a carga do ampop (resistência equivalente à resistência de entrada do próximo estágio).

**TERCEIRO PASSO** - Ligar a alimentação e aguardar alguns minutos para que o ampop atinja a temperatura de trabalho.

**QUARTO PASSO** - Medir a tensão de saída com multímetro de boa qualidade.

**QUINTO PASSO** - Ajustar o trimpot de ajuste até ZERAR o sinal de saída.

**SEXTO PASSO** - O efeito do *Drift* pode ser observado se aquecermos todo o circuito com jato de ar quente (secador de cabelo por exemplo). Atenção para não ultrapassar a temperatura máxima.

Anular completamente o *offset* é praticamente impossível, uma vez que  $I_b$ ,  $I_{IO}$  e  $I_{IO}$  variam com a temperatura, idade, tempo e tensão de alimentação. Estas variações são conhecidas como *drift*. Podemos minimizar estes erros seguindo as seguintes recomendações:

#### F. Como minimizar o offset

- 1) As duas entradas devem estar balanceadas em termos de corrente contínua. As duas entradas devem “enxergar” a mesma resistência DC.
- 2) Manter a temperatura ambiente constante.
- 3) Utilizar fonte de alimentação estabilizada.

- 4) Utilizar componentes de boa qualidade (resistores e capacitores).
- 5) Utilizar (ou substituir por) amplificadores operacionais de precisão, ou seja, ampop de baixo *drift*.

AmPOP como o excelente *OP-77A* da PMI, compatível pino a pino com o 741 (com o trimpot de ajuste de *offset* retirado), apresenta:

$A_{OL} = 5000V/mV$
$V_{IO} < 60\mu V$
$tcV_{IO} < 0,3\mu V/^{\circ}C$
$I_b < 2nA$
$I_{IO} < 1,5nA$

#### REFERÊNCIAS

- [1] Sedra, Adel S.; Smith, Kenneth C. “Microeletrônica”, 5ª Edição. Editora Pearson Prentice Hall, RJ - 2007.
- [2] Boylestad, Robert L.; Nashelsky, Louis. “Dispositivos eletrônicos e teoria de circuitos”, 8ª Edição. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2004.